

地理环境污染及其危害

科学技术文献出版社

一九七四年十月

地理环境污染及其危害

(只限国内发行)

编辑者: 中国科学技术情报研究所

出版者: 科学技术文献出版社

印刷者: 中国科学技术情报研究所印刷厂

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

开本 $787 \times 1092 \cdot \frac{1}{16}$ 9印张 230千字

统一书号: 17176·14 定价: 0.74元

1974年11月出版

目 录

1. 英国健康人組織中某些穩定元素的分布和 濃度——一种环境研究.....	(1)
2. 人的膳食中化学元素丰度与环境因素的可能关系	(25)
3. 污染对生态系的生理与結構的影响	(38)
4. 在环境致癌过程中地理病理学的作用	(43)
5. 藻癌和煤炭化学工业廢物中的致癌物	(53)
6. 重金属在河流沉积物中的积累：对环境污染的影响	(58)
7. 汞和食物鏈	(65)
8. 日本关于甲基汞中毒的新近研究摘要	(67)
9. 密执安湖环境中的汞	(70)
10. 矿山鎘污染的河流与骨痛病的关系	(72)
11. 植物对鎘的吸取	(77)
12. 一个流域——生态系中的鉛污染模式	(80)
13. 密苏里州新鉛带地区的水生生物与重金属的关系	(84)
14. 植物吸取鉛及其对动物的影响	(97)
15. 亚砷酸鈉对胚胎发育的影响	(100)
16. 环境中硝酸盐、亚硝酸盐和亚硝胺的积累及其危害	(103)
17. 酚在水的臭氧化过程中分解产物的卫生评价与毒性鉴定	(112)
18. 氟的表生地球化学	(115)
19. 农药污染环境殘留于食品及人体內問題	(122)

英国健康人组织中某些稳定元素的分布 和浓度——一种环境研究

E.I. 汉密尔顿 M.J. 明斯基 J.J. 克利里

提要: 对存在于各种健康人组织中的50—60种元素作了研究, 而且报导了大约40种元素的定量结果。使用的分析方法是火花光源质谱仪法、X荧光法和各种放射活化法。

对许多元素进行探索研究的价值, 主要根据是, 在考虑人体化学元素的丰度与人类发病间存在可能关系时, 获得的资料的价值来讨论的。当试图将人体化学元素丰度与人类疾病发生相比较时, 强调了需要有一种准确严格的方法。人体组织和平均的地壳岩石之间元素丰度曲线形状的相似性与存在人体中的化学元素和自然环境中化学元素之间的评论一同进行了讨论。

将英国人体组织中大部分化学元素与其他地方的这种资料进行了比较, 认为和试验过的材料中存在的绝大部分化学元素只有很小的差异。假如人体中存在着某些化学元素对各种类型的疾病起了作用的话, 那么, 一般的探索性研究将迫切要求对划分明确的环境进行定量测定来证实。

血液样品(总计2500个个体样品)虽只供给了有限的数字, 但可以作为1968—1969年期间的一种有用的表示历史顺序的样品。

引 言

健康物理学领域内问题之一是关于人体中放射核素(radionuclides)的分布。某些放射核素(如铀和钍的放射系以及钾-40)在自然环境中所有人体组织中无处不有。此外, 相当于元素周期表中许多元素的“人造”放射性核素被引进自然环境(例如核爆炸和核电站产物), 因而易于进入人体。

当有关的放射性核素发出的放射能量足以透过复盖于其沉积部位上的组织时, 采取全身计数器来测定人体放射性是理所当然的。除了少数几种发出能量粒子的放射性核素(这种粒子产生韧致辐射, 它有足够的能量从人体逃

逸, 而且其量是可观的)以外, 仅有的有关放射性核素是 γ 射线的放射体, 或者是正电子的放射体, 因为正电子很快烟没, 而且释放出二个 γ 射线的量子, 所以正电子放射体也能作为 γ 射线的放射体。因此, 利用放射追踪器的办法, 全身计数技术能够用于研究活人体内的元素分布。在体内有放射性核素而不能采用体外计数技术的情况下, 对排泄物(即尿、大便、呼气)进行放射性检测常常能够提供关于组织和器官中该放射性核素丰度的有用知识。

与稳定元素相比较, 可以想象放射性核素在化学上和生物学上的行为多少与相应的稳定元素相同。就一般而言, 这种假设是正确的, 但是, 这并不意味着元素中的少数原子, 不论是放射性的或稳定的, 都要遵循同样的生物学

途径（即载体效应），正当该元素存在量很大时一样。

周期表中绝大部分元素均有其相应的放射性核素，这对于放射学防护问题是恰当的，所以，如果知道了稳定元素在人体中的分布，将有可能预知它们的放射性等价体沉积位置。这样的知识是相当有益的，特别是对于那些不遵从体外计数技术检验和排泄物放射检验的放射性核素更是如此。国际放射学防护协会（I. C. R. P）第二委员会的报告发展了重量70公斤“标准人”这个概念，其中人体的全部器官和组织是根据死后尸体样品中获得的平均质量配给的。在人体器官和组织中许多元素的浓度是利用已出版的可利用的资料来估测的。利用这种知识，能够预知某种特殊的放射性核素沉积所在的部位，因此，假若放射性核素的生物半衰期和它的存在量可以测出的话，那就可以测定某器官接受离子放射的剂量。稳定元素在健康人体组织中的获取率和分布受到该元素主要进入途径（即膳食、水和空气）所存在的化学形态所影响。放射性核素也通过这样的媒介进入人体，但是，在多数情况下，放射性核素的化学形态将是很不相同的，因此不一定呈现和研究过的稳定元素相同的分布样式。而且将认识到，人体元素的组成将随许多因素（例如地理区、种族、年龄、人群的年龄结构、营养的过剩和不足）而变化，所以，如果应用于特殊的人群地段或各个极端情况时，根据“标准人”对放射性核素计算的任何最大容许浓度都要求给予修正。本报告的资料提供了关于英国健康人体中化学元素丰度探索性研究的结果。该项研究的目的是获得阐述人体组织中大部分稳定元素正常范围的资料，这些人体组织是从各个未曾处于化学元素异常源地的个体得来的。本文只是涉及到关于人体组织中某些元素质量（每克组织的湿重和每克骨骼的灰重）结果的报告。在以后的文章中将详细考虑接触环境的膳食、空气和水中元素功能的意义。虽然，这项研究最初是针对放射防护问题的，但人体中稳定元素丰度的测定是与其他问

题有关联的，特别是与人类发病问题有关。在过去，人们总是暴露于这样的化学元素之下，即它的利用率受制于可认识的地理区域内的元素自然丰度。现在人们却遭受外加的、日益严重地损害健康的环境重压，它是由于农业和城市工业竞相使用环境而引起的。结果人们越来越处于某些元素及其化合物存在量异常的环境之下，从人类健康出发，其中有许多无疑是完全无害的污染物，但其他的一些是已被知道或被怀疑为可能有毒的污染物。人类种族的适应能力使可能在出现环境条件极大变化的情况下也能维持生命，而这种环境条件被认为是确定天然健康和生存最适宜的必要条件。当遭受单一元素的快辐照和慢辐照之后，可能发生有害健康的效应，通常这是能发现的。然而，人口数量巨大，从人类的生存观点出发，这些有害健康的效应，与可能发生在所谓亚毒水平上的更险恶变化比较起来，是并不重要的。这种更险恶的变化是不可能很快地认识到的，但最终会发现生命期显著缩短，或出现遗传结构的不利改变。当许多生物对环境的变化显示出很大的忍耐力时，由于环境条件的极端变化而造成异常形态（其可能性减少）的这种变化，是不突出的。关于这一点，人们由于现代工艺的结果而处于变化了的环境中；在许多变化中，处于化学元素及其化合物的不正常量中是必然的，虽然由于社会经济状况或广泛使用药品而产生的其他变化可能在人类疾病发生的关系中具有更大的意义。当然，今日的研究仅能涉及到今日的人，但是，毫无疑问，人类环境的重要变化在过去即已发生，特别是工业革命以来。关于这一点，这样一种变化的研究（即古生态学研究）是有趣的，但是，除了对无机化学组成尚未发生变化的、稀有的历史组织样品进行检验外，要进行研究是很困难的，例如，通过保存而引起的污染。关于人体组织中化学元素自然丰度的现代知识是很少的，而且，虽然对于主要元素来说有了大量的资料，而对于周期表中大部分元素来说，只有很少量可靠的知识是可利用的。有些时候某一种元素如铅可

以提供很详细的检验,而且其亚毒性效用被认识到,但是对大多数小量和微量元素,其类似的知识是缺乏的。

本项研究涉及到人体组织各个样品中许多元素的检验问题,是为了取得关于各该元素的相对浓度和分布的某些知识。对于许多元素的化验如果不依靠某些浓缩方法是不可能的,因为它们的浓度处于所采用方法的检出极限以下。元素浓度较低界限的确定对于人类疾病发生的关系方面仍然是有意义的,虽然,一种元素的浓度如果太低,例如,假如当组织中铊的浓度小于0.0001ppm时,对于人体健康能具有任何意义的话,那是值得怀疑的。而且,当联系到与人类发病的关系时,用每克湿组织所含元素的克数来表明元素的浓度时可能会导致错误,因为它没有提供关于该元素浓集在组织中特殊部位的可能性,而在这种情况下,它能参与有害于细胞和生物学过程的很局部的生化反应。开始,提供组织中主要成份的资料是需要的,但是还应该接着进行可以说明化学元素及其化合物在亚细胞水平上分布情况的研究。

在这里所论及的工作,计划分为三个阶段:第一阶段是关于整个器官和组织中大部分稳定元素基线资料的确定以及膳食、水和空气中元素基线资料的确定,因此,使有可能对元素进入人体的临界线作出评价;第二阶段,为了考虑元素和生化过程的关系,计划研究各个器官中元素的分布和它的化学形态;第三阶段,为了着重注意生化过程发生的部位,主要研究各个器官细胞内元素的分布。为了完成第一阶段的任务,设计出适当的分析手段,但可惜的是缺乏能够妥善处理分析复杂性的任何适当资料系统,以及一种可以使人接受的传送资料系统,严重地妨碍了工作,因而不得不采用费力的手工操作方法。由于这种限制,注意力转向于研究人的血液,因为容易取到全英国的样品,此外也测定了某些组织中有限数量的若干稳定元素的丰度。

需要有一个能够研究各种各样物质中主要元素组分的小型中心实验室。通常由于研究元

素的数量不多,因而缺乏有价值的资料。没有引起充分注意的主要问题是关于采样、样品制备、样品主要化学组分对特定元素化验关系上的重要性、分析技术和实验室间的标准化问题。

虽然,对大多数样品分析其一种或几种元素存在许多问题,但当与样品小体积(如亚细胞碎片)中元素分布问题相比较时,这些问题又是比较简单了。在将来,元素及其化合物存在于细胞中的部位问题很可能比粗略化验组织中的元素更加重要。根据某些少数的研究,区划有意义的成分是可能的,但是对于由此而发生污染的种种危险或生物学结构的破坏也是大的。电子显微探针(电子或立体扫描显微镜加X荧光分析器)可能证明是有价值的,但是,目前对于许多元素仍然灵敏度不够。可选的仪器是离子探针(电子或立体扫描显微镜加质谱仪),虽然一些初步研究(E. I. H 进行的)认为,当由于NaCl和无机离子所产生的干扰被克服后,这将是一种很强有力的、多功能的研究工具,但是,目前还没被使用。这两种仪器能够对 $1\mu\text{m}^3$ 体积冰冻干燥物质薄片中的元素进行化验。

实 验

为了保证人体组织的主要样品中许多元素的化学测定,把无关元素的掺入减到最少是很重要的。为了减少本研究中的污染问题,没有试图采用湿化学富集技术来改良所选择出的分析方法的检出限。如这些程序被采用的话,那么就很难于制备足够量的超纯试剂,而且也难于选择这样的器皿(例如玻璃和塑料器具),即元素不致从器皿上被淋溶下来,或在样品溶液中不会因吸附作用而遭受损失。然而,当全部样品在化验之前,先进行冰冻干燥或灰化,元素可能获得某种程度的富集。大量元素和小量元素以及某些小量元素和几种微量元素一起用X荧光分析来测定,其余的微量元素用火花光源质谱仪测定,而在标准制备中采用

热离子化质谱仪和放射活化技术,还有对于用其他技术难于测定的元素也采用这些仪器。这种手段使实验室内的一些方法达到相互标准化。开展工作的实验室是由预先制作的木质结构材料组成,除与仪器设备有关联的许多金属以外,为了使金属对实验室的污染减小到最低程度,所有其他的东 西,如铝管设备、电路、油漆、楼板外护物等均有塑料做防护。通过控制温度但不控制湿度的干过滤系统供给实验室以超纯空气;近来的工作表明,如果湿度得到控制的话,电子成分的稳定性将会有所改良。供给实验室的家庭用水具有高含量的钙(即硬水),因而要求纯化;关于所采用的纯化系统的说明已在别的地方⁽³⁾有了描述。根据我们的经验,应该注意到,虽然超纯水能够制备,但已经证明,在容器(例:塑料容器)中贮存这种水是不可能的,因为它将累计性地被许多元素污染。而且,纯水的质量也不是不变的,因此必须定期地给予监测。假如,只要求供给小量的超纯水,那末可以冰冻一批经过处理的水来实现这一点。除水以外,小量化学试剂也是必需的;盐酸用等热蒸馏法制备,硝酸用石英低温双蒸馏法制备。其他试剂,如过氧化氢、丙酮和三氯乙烯用适当的蒸馏技术制备,这些技术已在别的文献中述及⁽³⁾。为了校对液体试剂的纯度,用10ml试剂使之在小量超纯碳粉上蒸发干燥,然后用火花光源质谱仪化验它的不纯度。一当实验室建成,在实验室内要施行防止可能污染源的严格规程。虽然仪器设备中有大量的金属,但主要的污染源是实验室工作人员。其中之一是人携带而来的碎片,而且衣物常常带来一种含有大量硼、钠、磷和钙的特殊类型的尘土。值得注意的其他来源是吸附在鞋底的碎片,可以采用在所有房间入口处设置“粘性地板垫”的办法把它除去。所有实验室的衣物在实验室内均用少量的洗衣剂洗濯,曾发现这对于要用无离子水清洗地板的实验室工作人员来说是极端重要的。在硬水区域,如果实验室设在其范围内,由于用水对地板进行持续的清洗,使碱土金属和其他一些代表本地

水特征的元素出现普遍的增长。

样品

血液:通过血液(特别是血浆)把化学元素输送到整个人体。为了从血浆中分离红细胞,同时也为了防止生理学屏障的破坏(这种破坏将会扰乱在二种血液相之间起到元素的分区作用),采用了抗凝剂。然而抗凝剂含有许多元素,这会产生污染,甚至虽然只小量采用也会如此。一种改变的方法是样品取到后立即用离心机分离,但是,当处理全英国遥远地区的样品时,这就要发生问题。在这里所报告的关于血液的全部化学资料,而血液是从没有了解到患有任何疾病的所谓正常人取来的,血液样品通过与输血局地区中心协作取得。起初,为了取得全英国的完整平均数,某些血液样品是从医院中没有经过药物处理或妨碍代谢活动措施的病人身上得来的。这些物质分析的结果立即明显地表明许多医院的样品在化学元素组成上有一种不规则的倾向,所以这种样品的收集就停止了。所有样品,记录以下内容:姓名、住址、性别、年龄、在给定住址的居住时间、在以前的居住地区、采集日期、样品制备的日期和样品重量。按照标准程序,用一个Y型管从捐献者的手臂上抽取,Y型管在整个抽血过程中可以连续的采集血样。分离试验已经表明,由于采用不锈钢针,所发生的无关元素的污染是可以忽略的,因为需要有一简单的收集样品的方法,这一程序被采用。从英国各地总共采集了2500个血样。这里所报告的资料是随机选样的,而从已了解的区域地理——地球化学环境中所获得的血液化学组成的意义将在别处讨论。为获得全英人体血液中元素平均浓度的概念,由2500份样品的每一份中抽出相等的部分组合成母体混合体(Master mix),该资料也在本文中列出(图4)。

组织:组织样品是从事故死亡者取得,其制备方法系按照死亡后标准步骤处理。采用这种采样方法,简单地认为样品即会代表正常的健康组织;当然,这是不可靠的,但目前已经

证明,要能够保证所取得的样品是来自健康的个体是很困难的。除开肾和脑外,采的是整体组织,而在本阶段并没有打算要把各个器官各种成分分开,骨骼的样品是从生活在硬水地区和软水地区的人得来的。

样品制备

所有样品都是由充分掌握污染问题的人采集的。一接到新鲜样品立即在实验室称重,接着进行自动冰冻干燥。对于组织来说,在接近外科割切的区域,是由于用戴上有滑石单体的聚氯乙烯手套的手把物质表面折毁的办法,机械地把它移开的。在许多情况下,当实验室接到样品时,由于血液的凝结,往往不能认清器官的组织部位,但是样品冰冻干燥后,器官的构造是很有特异性的,而且能够保证加以分离。分离研究已经表明,只有汞在冰冻干燥后从样品中有所损失(约30%)。全部制备手续在涂有聚丙烯的提取器中完成,或者为了减少感染的危险用经紫外光照射过的层流橱(Lamina flow hoods)。对细菌和病菌的定期试验全部证明为阴性。

用火花光源质谱仪对组织样品进行化验,全部样品采用低温($\sim 100^{\circ}\text{C}$)新生氧气技术灰化。为了去掉有机物质,灰化是重要的;假如这个过程没有完成,则产生复杂的碳氢离子光谱叠加在化学元素的离子光谱之上,使得对资料的判断很困难。由于灰化样品,使某些元素受到损失,而这个问题已经在其他地方作过讨论⁴⁻⁸。虽然对于血液和组织的灰化样品来说,再现条件能够得到,但对于粉末状骨头却存在问题,这是由于氧等离子体不能透入粉末状的样品,即使连续不断地搅动样品也是如此。现在,虽然灰化骨头的方法仍然正在发展着,但本文对于用热纯三氯乙烯处理新鲜湿骨头,随后用超纯过氧化氢氧化,为各种元素去掉有机物质提供某些初步的资料。与组织样品不同,骨头还存在一个严重的采样问题,因为大部分包藏的骨髓(Occluded marrow),特别是小梁骨(trabecular bone)具有很大的

可变性。所以,兴趣就集中于骨头无机部分的元素上;初步工作已经表明:由于骨含有骨髓之故,要把存在于小梁骨(例如肋骨)中的大部分元素与存在于密致外层骨(例如股骨干)中的相应元素作比较是不切合实际的。为了核减所含骨髓,初步证据认为有理由假设骨的无机部分不含有铁。天然磷灰石中,铁含量不显著,因此这一元素可用来作为校正因子,以便减去血中含有的相应元素的含量。经过冰冻干燥或灰化的所有样品,用各种类型的碾磨机粉碎成细粉(~ 120 网眼筛)。为了获得均匀样品,而又不发生污染,该过程是很重要的。它的详细内容在其他文献中也有阐述⁴。

关于质谱化验,用100mg均匀样品液体,与25mg超纯碳混合成导电的电极。就X荧光光度计来说,采用在30吨水压机⁽⁴⁾上压缩制成平板状的冰冻干燥样品是足够的,关于放射活化方法化验,采用新鲜的湿冰冻干燥或灰化的样品照例是合适的。

方法

分析方法如下

(a) 质谱仪。采用带有热电离附件的AEI/MS702火花光源质谱仪来承担化验任务,光源区装备有一个冰冻吸收泵;在打开光源使其置于空气中以前,凝结水的问题采用聚焦高强度汞蒸发光源通过玻璃观察窗加热光源的办法来克服。要最小心地把电极放到规定的位置,电极用一个装架排成一行,在显微镜下决定它的最终位置。当发射火花时,电极间隙采用自动定位装置维持。离子记录是在平常的照像底板上进行的,虽然最近一种直接的电输出系统正在被采用。底片的分析先进行初步的肉眼研究,然后再利用定量的手工测微黑度计(guantitative mamual microdensitometry)。资料判读的细节,特别是相对灵敏度系数问题(由于灵敏度的关系,对于被记录的相同质量元素的离子的强度依据基质的化学组成而有差别)已在另处述及⁹。

(b) X荧光分析。采用带有标准Cr、W

和Au的X射线靶管的 Phillips PW1220 光度计, 仪器带有氟化锂 (220和200晶体)、季戊四醇和邻苯二甲酸氢钾晶体。这种方法为本研究的一个重要组成部分, 因为, 除去对于大量元素、小量元素和微量元素定量资料的提供之外, 这些资料也被用来作为以后质谱仪分析的内部标准。

(c) 放射活化分析。用热中子, 有时用 30meV 光子或 30meV α 粒子照射后, 为了去掉钠, 用有限放射化学分离来承担, 在照射不久后钠占据了大部分放射性, 因此, 有消除其他放射核素的 γ 线活性的趋向。对某几个元素来说, 放射化学上的纯放射核素被分离。关于放射性的化验用 30-cc Li- (Ge) 二极管或 4in $\times$ 3in NaI* (Tl) 晶体来承担。

标准化程序。除了使用纯化合物的重量法的习用标准制备外, 用 X 萤光化验时, 采用多标准附加法。借助于国际多元素标准, 在标准化尽了很大的努力, 例如 Bowen's Kale¹⁰; 美国地质调查的标准岩石 G1, W1, G2, AGV1, BCR1, PCC1; 美国国家标准局, 果树叶, 白云石、铝土矿; 国际原子能所的标准, 血和骨头。作者们还要强调需要有少数的精心制备的标准, 以代表主要类型的人体组织, 如肾、肺、骨。

表 II 健康人组织中某些元素浓度的结果 (微克/克湿重)

表中结果用火花光源质谱仪取得, 但*表示用 X 萤光分析, +表示用放射活化技术。许多元素没有被测定 (ND), 因为它们的丰度都处于所采用的各种方法的检出限之下。在本研究中所采用的质谱和 X 萤光试验的检出限列于表 II, 给出了全部分析的平均值和标准误差 (1 sigma)。

表 1. 人体组织的水分和灰分含量资料

组 织	样品数	水 %	灰 分*%
血 液	104	79.9 $\pm$ 0.2	1.2 $\pm$ 0.02
脑	10	78.2 $\pm$ 0.3	1.7 $\pm$ 0.02
全 肾	18	74.9 $\pm$ 1.5	1.3 $\pm$ 0.1
肾(皮质)	8	74.9 $\pm$ 1.5	1.8 $\pm$ 0.07
肾(髓质)	8	74.9 $\pm$ 1.5	1.1 $\pm$ 0.06
肝	11	70.6 $\pm$ 1.6	1.5 $\pm$ 0.09
肺	10	79.6 $\pm$ 0.7	1.3 $\pm$ 0.06
淋 巴 结	6	70.1 $\pm$ 3.1	1.3 $\pm$ 0.1
肌 肉	6	72.6 $\pm$ 1.1	1.3 $\pm$ 0.03
卵 巢	6	80.1 $\pm$ 0.9	1.4 $\pm$ 0.10
辜 丸	5	80.7 $\pm$ 1.6	1.4 $\pm$ 0.02

*低温灰化

*原文 Na 应改为 NaI

表IIA 血(微克/克湿重)、血液样品的地理分布列于图4

元 素	(a) 英国的母体混合	放射防护局的数值		Anspaugh 等 人 的 数 值		
		(b) 单个血样的平均值	样 品 数	平 均	样 品 数	范 围
U	ND	$+0.0008 \pm 0.0001$	21	ND		
Tn	ND	$+0.002 \pm 0.0004$	30	ND		
Pb	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.03	103	0.6	70	
Tl	$+0.0005 \pm 0.0001$	ND		ND		
Hg	$\sim (0.0006)$	ND		0.005	14	0.005—0.005
Au	ND	<0.0003		0.00004	6	0.00003—0.00006
Ba	0.08 ± 0.03	0.1 ± 0.06	103	<0.4		
Cs	0.01 ± 0.006	0.005 ± 0.0006	103	ND		
I	0.06 ± 0.04	0.04 ± 0.003	103	0.07	117	0.02—0.1
Sb	0.002 ± 0.0006	0.005 ± 0.0009	75	0.005	5	0.003—0.009
Sn	0.005 ± 0.002	0.009 ± 0.002	102	ND		
Ag	0.01 ± 0.005	0.008 ± 0.0008	93	ND		
Nb	0.004 ± 0.0005	0.005 ± 0.0007	85	0.2	1	
Mo	0.001	ND	8	ND		
Zr	0.01 ± 0.006	0.02 ± 0.008	98	ND		
Y	0.007 ± 0.003	0.005 ± 0.0006	98	ND		
Sr	0.02 ± 0.005	0.02 ± 0.002	102	0.01	6	0.007—0.03
Rb	$*2.8 \pm 0.1$	$*2.7 \pm 0.04$	165	1.5	6	1.0—2.0
Se	0.08 ± 0.04	0.06 ± 0.005	98	0.2	251	0.2—0.2
Br	$*4.8 \pm 0.1$	$*4.6 \pm 0.06$	163	3.9	16	1.6—12.6
As	0.1 ± 0.04	0.2 ± 0.02	103	0.3	11	0.09—0.7
Zn	$*7.0 \pm 0.2$	$*6.7 \pm 0.05$	169	7.4	182	4.0—14.8
Cu	$*1.2 \pm 0.02$	$*1.2 \pm 0.02$	168	0.9	269	0.3—11.5
Fe	$*493.0 \pm 3.9$	$*490.5 \pm 2.4$	168	390.6	2	
Mn	0.09 ± 0.05	0.07 ± 0.009	102	0.02	42	0.005—0.02
Cr	0.07 ± 0.05	0.03 ± 0.004	102	0.03	155	0.01—0.06
Sc	$+0.008 \pm 0.003$	ND		ND		
Ca	$*60.4 \pm 0.3$	$*61.5 \pm 0.7$	167	60.0	6	40—80
K	$*1900 \pm 20$	$*1860 \pm 7$	169	2796 ± 403	104	
Cl	$*3020 \pm 77$	$*3000 \pm 20$	170	2731	7	2370—3050
S	$*1770 \pm 14$	$*1770 \pm 10$	167	ND		
P	$*335.0 \pm 10$	$*327.9 \pm 16$	169	400	6	300—550
Al	0.2 ± 0.06	0.4 ± 0.6	94	ND		
Mg	48.8 ± 16.1	46.4 ± 6.6	103	45.1	60	34—54
Na	$*1770 \pm 100$	2030 ± 20	6	1700	10	1500—2200
F	0.07 ± 0.02	0.2 ± 0.05	100	0.2	37	0.04—0.4
Li	0.002 ± 0.0004	0.006 ± 0.002	101	3.0	6	1.9—4.4

(a) 分析四个英国母体混合样品所得结果的平均值, 见样品处理一节。标准补充法的X荧光(母体混合)试验。

(b) 英国有限地区的血液平均值。

表II B 脑 (微克/克湿重)

元 素	放 射 防 护 局 的 数 值					Anpaugh等人的数值		
	全 脑	样品数	前 叶 ^(c)	基神经结 ^(c)	样品数	平均全脑	样品数	变幅 (范围)
Bi	0.01	10	0.04±0.03	<0.008±	2	<0.03		
Pb	0.3±0.1	10	0.2±0.06	0.1±0.03	2	4.8	14	0.1—19.1
Tl	*<0.001	4	ND	ND		ND		
Ba	0.006±0.0003	10	0.008±0.002	0.05±0.04	2	0.03	18	0.01—0.1
I	0.02±0.002	10	0.02±0.15	0.03±0.006	2	ND		
Sb	0.007±0.0004	10	0.01±0.002	0.02±0.003	2	ND		
Sn	0.06±0.01	10	0.03±0.07	0.04±0.02	2	<0.1		
Cd	0.3±0.04	5	0.04±0.004	0.07±0.01	2	<0.8		
Ag	0.004±0.002	10	0.003±0.001	0.004±0.0002	2	0.03	1	
Zr	0.02±0.001	10	0.01±0.006	0.03±0.002	2	2.6	4	0.3—6.4
Y	0.004±0.0001	10	0.007±0.003	0.02±0.0009	2	ND		
Sr	0.08±0.01	10	0.2±0.2	0.07±0.03	2	0.04	145	0.008—0.07
Rb	*4.0±1.1	2	*3.2±0.1	*5.8±0.1	2	ND		
Br	*1.7±0.05	2	*3.1±0.1	*3.1±0.1	2	ND		
Se	0.09±0.02	10	0.05±0.001	0.05±0.02	2	0.2	4	0.2—0.3
As	0.10±0.01	8	ND	ND		ND		
Ga	0.0006±0.00003	10	0.001±0.0001	0.002±0.0001	2	ND		
Zn	*12.5±0.05	2	*13.1±0.1	*13.2±0.1	2	13.7	134	5.2—18.6
Cu	*5.6±0.2	2	*4.7±0.1	*6.2±0.1	2	6.2	137	2.2—8.5
Fe	*56.6±7.0	2	*43.8±0.5	*58.1±0.7	2	57.6	108	37.3—81.4
Mn	0.2±0.03	10	*0.2±0.03	*0.3±0.05	2	0.3	127	0.2—0.5
Cr	0.01±0.001	10	0.03±0.005	0.09±0.06	2	0.03	1	
V	0.03±0.008	10	0.02±0.005	0.09±0.04	2	<0.02		
Ti	*0.8±0.05	2	*1.0±0.01	*0.8±0.01	2	<0.08		
Ca	*57.0±0.5	2	*62.6±11.1	*58.0±5.1	2	100	108	55.9—162.7
K	*2500±600	2	*2456±10	*3150±100	2	3220	102	2203—4237
Cl	*1400±200	2	*2135±10	*1780±54	2	ND		
S	*1500±10	2	*1293±15	*1440±50	2	ND		
P	*2800±10	2	*2585±41	*3096±158	2	3390	102	2712—4407
Si	*23.0±4.4	2	*13.8±0.4	*24.2±4.4	2	ND		
Al	0.5±0.1	10	0.05±0.001	0.07±0.04	2	0.4	127	0.1—0.6
Mg	193.8±38.0	10	198.3±65.9	126.5±7.1	2	155.9	108	98.3—203.4
F	0.03±0.01	10	0.03±0.02	0.01	1	ND		
Li	0.004±0.001	10	0.003±0.001	0.004±0.003	2	ND		

(c) 每项 2 个样品

表II C 肾(微克/克湿重)

元素	放射防护局数值				Anspaugh等人的数值		
	全肾 ^(d)	皮 质	髓 质	样品数	平均全肾	样品数	变幅(范围)
Bi	0.4±0.1	0.4±0.04	0.5±0.01	8	0.5	1	
Pb	1.4±0.2	1.3±0.2	0.7±0.2	8	1.1	388	0.3—2.4
Tl	* < 0.003	ND	ND	8	ND		
Ba	0.01±0.001	0.01±0.002	0.01±0.002	8	0.09	18	0.02—0.5
Cs	0.009±0.005	0.003±0.0001	0.01±0.001	8	ND		
I	0.04±0.01	0.03±0.005	0.03±0.01	8	ND		
Sb	0.006±0.001	0.005±0.0004	0.008±0.0004	8	ND		
Sn	0.2±0.04	0.2±0.07	0.3±0.08	8	< 0.3		
Cd	13.9±0.7	*14.3±2.7	*12.3±2.8	8	35.1	145	16.5—56.0
Ag	0.002±0.0002	0.001±0.0002	0.002±0.0002	8	< 0.003		
Nb	0.01±0.004	0.01±0.003	0.02±0.007	8	4.7	2	0.7—8.8
Zr	0.02±0.002	0.02±0.002	0.01±0.002	8	2.7	4	0.7—5.4
Y	0.006±0.001	0.005±0.008	0.007±0.003	8	ND		
Sr	0.1±0.02	0.2±0.003	0.1±0.03	8	0.07	161	0.01—0.3
Rb	ND	*5.2—0.5	*5.0±0.3	8	ND		
Br	ND	*8.2±1.0	*5.2±0.9	8	ND		
Se	0.1±0.02	0.2±0.02	0.1±0.03	8	ND		
As	0.3±0.05	0.3±0.07	0.4±0.09	8	ND		
Ga	0.0009±0.0003	0.0007±0.0002	0.001±0.0005	8	ND		
Zn	37.4±5.9	*48.1±4.9	*37.4±3.7	8	53.9	146	21.0—81.3
Cu	2.1±0.4	*44.±0.4	*3.9±0.3	8	2.9	149	1.3—3.8
Fe	ND	*97.8±10.2	*121.0±12.7	8	75.6	124	29.0—120.9
Mn	1.3±0.5	*0.5±0.06	*0.3±0.02	8	1.0	143	0.5—1.6
Cr	0.03±0.005	0.02±0.004	0.04±0.01	8	0.2	128	0.01—1.8
Ti	ND	*1.3±0.2	*1.2±0.2		0.05	1	
Ca	ND	*172.0±30.0	*171.0±19.0	8	107.7	121	57.1—175.8
K	ND	*2400±200	*2400±100	8	1868	114	1429—2308
Cl	ND	*2750±130	*2800±100	8	ND		
S	2040±310	*2100±100	*2100±100	8	ND		
P	ND	*1700±100	*1600±100	8	1648	116	1319—1978
Si	40.0±11	*37.0±7.0	*53.8±5.2	8	ND		
Al	0.4±0.1	0.4±0.3	0.3±0.1	8	0.5	141	0.2—0.9
Mg	205.3±34.7	289.0±58.6	143.7±17.3	8	131.9	121	96.7—186.8
F	0.01±0.002	0.01±0.003	0.02±0.004	8	ND		
Li	0.01±0.003	0.01±0.004	0.01±0.004	8	ND		

(d) 全肾的测定只是MS702的结果

表II D 肝 (微克/克湿重)

元 素	放 射 防 护 局 数 值		Anspaugh 等人的数值		
	肝	样 品 数	平 均	样 品 数	变 幅
U	$+0.0008 \pm 0.0001$	21	ND		
Bi	~ 0.004	11	0.09	1	
Pb	2.3 ± 0.6	11	1.5	393	0.2—3.2
Tl	$+ \sim 0.009$	4	ND		
La	0.08 ± 0.03	11	0.0003	1	
Ba	0.01 ± 0.003	11	0.04	19	0.01—0.2
I	0.2 ± 0.06	11	ND		
Sb	0.01 ± 0.002	11	0.01	2	0.008—0.01
Sn	0.4 ± 0.08	11	< 0.4		
Cd	$+4.30 \pm 1.0$	4	0.1	2	0.1—4.4
Ag	0.006 ± 0.002	11	0.04	1	
Mo	0.4 ± 0.2	11	1.0	149	0.4—1.8
Nb	0.04 ± 0.009	11	3.7	3	1.8—5.8
Zr	0.03 ± 0.005	11	6.3	3	1.4—9.2
Y	0.01 ± 0.002	11	ND		
Sr	0.1 ± 0.03	11	0.03	165	0.009—0.09
Rb	$*7.0 \pm 1.0$	9	4.7	2	3.8—5.6
Br	$*4.0 \pm 0.3$	9	2.5	2	2.0—3.0
Se	0.3 ± 0.1	11	ND		
As	0.46 ± 0.04	6	0.0007	2	0.005—0.008
Ga	0.0007 ± 0.0001	11	ND		
Zn	$*75.8 \pm 9.6$	9	52.4	199	11.0—228
Cu	$*14.7 \pm 3.9$	9	9.8	190	3.0—58.0
Fe	$*176.0 \pm 28.9$	9	192.4	211	24—493.2
Mn	$*0.5 \pm 0.08$	9	1.7	155	0.7—2.9
Cr	0.08 ± 0.06	11	0.04	124	0.003—0.13
V	0.04 ± 0.01	11	1.9	1	
Ti	$*1.3 \pm 0.2$	9	0.2	1	
Ca	$*54.3 \pm 6.7$	9	62.8	135	28.6—144.0
K	$*2400 \pm 100$	9	2597	116	1818—3247
Cl	$*1560 \pm 80$	9	ND		
S	$*2000 \pm 100$	9	ND		
P	$*2020 \pm 120$	9	2570	120	940—3247
Si	$*33.6 \pm 13.8$	9	ND		
Al	2.6 ± 1.3	11	0.8	155	0.2—1.6
Mg	172 ± 30	11	166.7	133	107.8—233.8
F	0.06 ± 0.01	11	ND		
Li	0.007 ± 0.003	11	ND		

表II E 肺 (微克/克湿重)

元 素	放 射 防 护 局 数 值		Anspaugh 等 人 的 数 值		
	肺	样 品 数	平 均	样 品 数	变 幅
U	*0.001	1	ND		
Th	0.01±0.007	11	ND		
Bi	0.01±0.001	11	<0.05		
Pb	0.4±0.05	11	0.7	141	0.2—1.5
Ba	0.03±0.008	11	0.1	14	0.03—0.4
I	0.07±0.03	11	ND		
Sb	0.06±0.005	11	1.0	3	
Sn	0.8±0.2	11	1.2	1	
Cd	*2.3±0.8	4	<0.8		
Ag	0.002±0.0001	11	0.005	1	
Nb	0.02±0.001	11	1.6	2	0.6—2.7
Mo	0.12±0.01	8	ND		
Zr	0.06±0.009	11	3.5	4	1.2—7.5
Y	0.02±0.001	11	ND		
Sr	0.2±0.02	11	0.1	155	0.05—0.5
Rb	*3.5±0.4	11	ND		
Br	*7.5±0.7	11	ND		
Se	0.1±0.02	11	0.2	4	
As	*0.02±0.01	4	ND		
Ga	0.005±0.002	11	ND		
Zn	*13.7±0.9	11	15.4	141	9.7—19.8
Cu	*2.2±0.2	11	1.4	141	1.0—2.0
Fe	*293±47	11	318.7	120	120.9—517.4
Mn	0.2±0.03	11	0.3	141	0.09—0.5
Cr	0.5±0.07	11	0.2	141	0.04—0.5
V	0.1±0.02	11	0.1	1	
Ti	*3.7±0.9	11	7.7	1	
Ca	*123.0±10.3	11	120.9	119	70.3—175.8
K	*2000±110	11	1978	110	1538—2637
Cl	*2120±70	11	ND		
S	*1700±90	11	ND		
P	*1000±100	11	1099	111	769.2—1538
Si	*57.4±10.7	11	ND		
Al	18.2±9.7	11	27.5	141	8.6—43.9
Mg	135.0±28.5	11	100.0	119	68.1—142.9
F	0.04±0.009	11	ND		
Li	0.06±0.01	11	ND		

表ⅡF 淋巴结(微克/克湿重)

元 素	放 射 防 护 局 数 值		Anspaugh等人的 数 值
	淋 巴 结	样 品 数	
U	0.01±0.002	6	
Th	0.2±0.1	6	
Bi	0.02±0.001	6	
Pb	0.4±0.1	6	
Ce	0.4±0.1	6	
La	0.07±0.02	6	
Ba	0.8±0.3	6	
Cs	0.02±0.01	6	0.09
I	0.03±0.01	6	
Sb	0.2±0.1	6	
Sn	1.5±0.6	6	
Cd	0.06±0.02	6	
Ag	0.001±0.0002	6	
Nb	0.06±0.007	6	
Zr	0.3±0.2	6	
Y	0.06±0.02	6	
Sr	0.3±0.08	6	
Rb	5.5±1.1	6	0.2
Br	0.9±0.3	6	
Se	0.05±0.01	6	
As	0.2±0.07	6	0.2
Ga	0.007±0.002	6	
Zn	14.1±2.0	6	
Cu	0.8±0.06	6	
Fe	106.0±20.1	6	
Mn	1.1±0.6	6	
Cr	2.2±0.8	6	
V	0.4±0.2	6	0.01
Ca	316.3±67.2	6	
K	687.4±162.4	6	
Cl	2149.9±113.0	6	
S	1010±190	6	
P	1420±280	6	
Si	489.0±219.0	6	
Al	32.5±18.0	6	
Mg	179.4±54.1	6	
F	0.09±0.03	6	
Li	0.2±0.07	6	

表II G 肌肉 (微克/克湿重)

元素	放射防护局数值		Anspaugh 等人的数值		
	肌肉	样品数	平均	样品数	变幅
U	$+0.0002 \pm 0.0001$	8			
Bi	0.007	1	<0.02		
Pb	0.05 ± 0.009	6	0.2	1	
Ba	0.02 ± 0.006	6	0.07	2	
I	0.01 ± 0.001	6			
Sb	0.009 ± 0.003	6			
Sn	0.07 ± 0.01	6	0.1	1	
Cd	0.03 ± 0.01	6	<0.9		
Ag	0.002 ± 0.0005	6	0.006	1	
Mo	~ 0.01	4	<0.05		
Nb	0.03 ± 0.008	6			
Zr	0.02 ± 0.003	6	2.6	1	
Y	0.004 ± 0.002	6			
Sr	0.05 ± 0.02	6	0.03	137	0.004—0.06
Rb	$*5.0 \pm 0.5$	6			
Se	0.11 ± 0.01	6	0.4	14	0.3—0.4
As	0.002 ± 0.001	6			
Ga	0.0003 ± 0.00004	6			
Zn	$*38.7 \pm 3.2$	6	57.8	137	34.9—81.9
Cu	$*0.7 \pm 0.02$	6	1.0	136	0.6—1.4
Fe	$*30.7 \pm 1.0$	6	42.2	120	25.3—61.5
Mn	0.04 ± 0.007	6	0.07	133	0.02—0.2
Cr	0.005 ± 0.001	6	0.06	1	
V	0.01 ± 0.003	6	<0.01		
Ti	$*0.2 \pm 0.01$	6	0.06	1	
Ca	$*41.0 \pm 5.3$	6	42.2	119	19.2—62.7
K	2850 ± 380	6	3015	141	2229—3735
Cl	720 ± 10	4	740.1	64	694.0—858.0
S	$*1108 \pm 210$	6			
P	1410 ± 350	6	1795	122	1325—2289
Si	$*41 \pm 0.9$	6			
Al	0.5 ± 0.2	6	0.4	136	0.07—0.9
Mg	231.7 ± 60.2	6	193.2	129	118.1—289.2
F	0.01 ± 0.004	6			
Li	0.005 ± 0.002	6			

表IIH 辜丸(微克/克湿重)

元 素	放射防护局数值		Anspaugh 等人的数值		
	辜 丸	样品数	平 均	样 品 数	变 幅
Bi	<0.002		0.2	1	
Pb	0.1±0.03	5	0.3	1	
Ce	0.006±0.002	5	ND		
La	0.002±0.0001	5	ND		
Ba	0.02±0.009	5	0.03	1	
Cs	<0.001		ND		
I	0.02±0.003	5	ND		
Sb	0.008±0.003	5	ND		
Sn	0.3±0.1	5	0.4	1	
Cd	0.3±0.09	5	0.5	1	
Ag	0.002±0.0004	5	0.005	1	
Nb	0.009±0.004	5	0.6	2	0.4—0.8
Zr	0.01±0.003	5	1.4	4	0.9—2.0
Y	0.004±0.001	5	ND		
Sr	0.09±0.002	5	0.06	70	0.02—0.1
Rb	19.6±6.2	5	ND		
Br	5.1±1.7	5	ND		
Se	0.2±0.04	5	0.5	4	
As	0.2±0.4	5	ND		
Ga	0.0009±0.0001	5	ND		
Zn	13.0±2.3	5	16.5	71	9.9—24.2
Cu	0.8±0.3	5	1.0	71	0.6—1.2
Fe	41.2±5.9	5	28.6	68	15.4—49.5
Mn	0.1±0.04	5	0.2	72	0.09—0.2
Cr	0.03±0.01	5	0.02	1	
V	0.2±0.08	5	<0.01		
Ca	135.3±51.5	5	105.5	68	70.3—153.8
K	1540±580	5	2088	67	1319—2637
Cl	1951±204	5	ND		
S	1310±320	5	1260	5	
P	1670±530	5	1319	65	769.2—1758
Si	3.1±1.6	5	ND		
Al	0.4±0.2	5	0.5	72	0.2—0.9
Mg	127.7±45.5	5	120.9	68	85.7—164.8
F	0.02±0.01	5	ND		
Li	0.003±0.001	5	ND		